

THERMAL HYDRAULICS

熱流動部会ニュースレター (第 86 号)

AESJ-THD

NEWSLETTER (No.86)

Dec. 19 2014

研究室紹介

横浜国立大学大学院
工学研究院 機能の創生部門
奥山・森研究室 森 昌司

1. まえがき

横浜国立大学大学院工学研究院 機能の創生部門 (学部の担当は化学・生命系学科) の熱エネルギー工学研究室は、奥山邦人教授、森昌司准教授、田中美香子助手の教員 3 名および学生 16 名 (D1: 1 名、M2: 5 名、M1: 6 名、B4: 4 名) で構成されています。機能の創生部門や化学・生命系学科が混相流とどのように関連するのか疑問にもたれる方も多いと思います。本学科は以前の化学工学科の流れを汲んでおり、本研究室は、元々化学工学の単位操作の中で“熱流動”に関する領域を担ってきました。

本研究室では、テーマ設定を行う上で以下の点を考慮できるように努力しています。

- ①熱流体の特異な挙動の発生機構の解明
 - ②時代のニーズに合致した、それらの現象の応用
- また、研究を学生と一緒にやっていく上で学術的な要素だけでなく、わくわく感が感じられるような思いつきで始めた研究も少なくありません。したがって、うまくいかなかった研究の方が当然多く、今回紹介するのは、比較的上手くいった方の研究テーマです。以下に、最近の研究テーマを示します。
- (1) ハニカム多孔質体を用いたプール飽和沸騰限界熱流束向上に関する研究
 - (2) 環状流中のじょう乱波動に与える気液の物性の影響
 - (3) 含水多孔質体を用いた過熱水蒸気の急速生成
 - (4) 相変化を伴う自励振動と熱輸送特性に関する基礎研究
 - (5) 自発核生成沸騰現象に関する基礎研究
 - (6) 非定常加熱による温度差マランゴニ流動に関する研究

(7) 細胞・組織の凍結保存に向けた基礎研究

(8) 急速加熱による沸騰伝播現象を利用したマイクロポンプ

2. 研究テーマ

紙面の都合上、本研究室で、著者が主に行っている研究についてのみ紹介させていただきます。

2.1 ハニカム多孔質体を用いたプール飽和沸騰限界熱流束向上に関する研究

2007 年に策定された日本機械学会の高熱流束除熱の技術ロードマップによると、電子機器の高発熱密度化、原子炉事故時の緊急冷却などに対応して、超高熱流束除熱を実現する冷却技術が切望されています。本研究では、図 1 に示すハニカム多孔質体をプール水中に浸漬させた発熱面上に装着するだけという簡便な冷却手法を提案しています。これにより、飽和プール沸騰水の限界熱流束 (以下、CHF と略記) を向上させることができます。具体的には、図 2 に示すようにハニカム多孔質体の厚さを薄くすると CHF が向上し、裸面の場合に比して最大 2 倍以上 (約 250 W/cm^2) まで除熱することが可能です。その CHF 向上の原理は、以下の通りではないかと考えています。図 3 に示すように、プール水中の発熱面上にハニカム多孔質体を設置し、加熱するとハニカム多孔質体底部には気液相変化に伴いメニスカスが形成されます。加熱によりそのメニスカス部が蒸発すると強烈な毛管力 (毛管圧力は、細孔半径が $0.1 \mu\text{m}$ の場合、約 1 MPa にも達する) で伝熱面に液体が供給されます。それと同時に、伝熱面近傍で発生した蒸気を迅速にマクロ孔 (蒸気排出孔) から排出させます。その結果、気液の循環が促進されるため CHF が向上します。

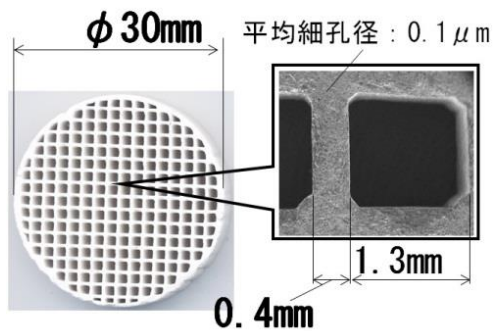


Fig.1 Shape of a honeycomb porous plate.

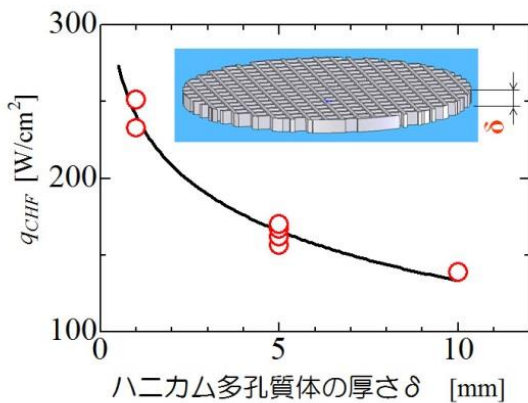


Fig.2 Relationship between q_{CHF} and heights of honeycomb porous plates.

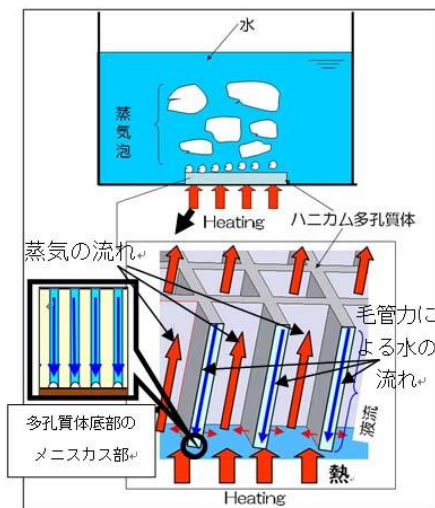


Fig.3 Schematic view of steam and water flow in a honeycomb porous plate.

一方、セル内部への液体の直接流入効果、セル上部に形成される二次気泡の影響、さらには伝熱面や多孔質体自体のぬれ性など、CHFに影響を与える因子が、徐々にわかってきました。さらなるCHF向上には、メカニズムの解明と共に、これらがCHFに与える影響を明確にしていく必要があります。

本手法の特徴は、大伝熱面かつ高熱流束除去が無動力でできる点です(現状では伝熱面直径50mmで側壁を設けた無限伝熱面を模擬した装置において裸面に比して2倍程度の限界熱流束向上効果があることを確認しています)。応用範囲は、大型半導体の冷却や、原子炉事故時における圧力容器底部のパッシブ冷却などが考えられます。本テーマは、幸いにも平成26年度原子力基礎基盤戦略研究イニシアティブに採択されました(題目:革新的な伝熱面構造制御による大型PWRのIVR確立、研究代表者 森 昌司)。今年度から、IVR技術への実用展開を目指して走り始めたところです。

2.2 環状流中のじょう乱波挙動に与える気液の物性の影響

環状流は、沸騰水型原子炉(BWR)の燃料棒近傍における流れをはじめとする、多くの工業機器に見られる重要な流動様式の一つです。その中でもじょう乱波流れにおいては、ドライアウトが2つのじょう乱波間の薄膜部で発生することからこの液膜挙動の把握は重要です。従来行われたじょう乱波に関する研究の多くは、大気圧近傍の空気-水系による検討ですが、沸騰水型原子炉のような高温高压下(7MPa、285°C)では気液の物性が大気圧下の空気-水系のそれと大きく異なるため、気液の物性の違いがじょう乱波挙動に与える影響を明確にしておく必要があります。そこで本研究では、気液の物性を系統的に変えることで、物性がじょう乱波流れの挙動に与える影響について検討を行っています。

図4はN2ガス・水系で気相の密度のみを変えた場合($\rho_L/\rho_G=763$ および23)における、時々刻々の膜厚変動の一例です。興味深いことに、気相のWeが同程度で比較すると、両者の波形は類似しており、じょう乱波流れを特徴付ける最大、平均、最小液膜厚さはほぼ同じとなります(図5参照)。また、表1に示すように気相にHFC134aガスを、液相にエタノールを用いることで常温・低压下(0.7MPa、40°C)において実機BWRの流動状態に近い流れを模擬した実験も行っています。これらの代替流体を用いた実験から従来高温高压で詳細に取得することが困難だった液膜厚さ変動、液膜流量、さらには流動様相を得ています。

図5に、表面張力および気液密度比を大きく変えた場合の、じょう乱波の膜厚特性を気相のWeで整理した結果を示します。上述したように気液の物性が大きく変わっても、膜厚に関してはWeによって良く整理できるようです。

2.3 含水多孔質体を用いた過熱水蒸気の急速生成

昨今の健康志向から家庭用過熱水蒸気調理器が流行っていますが、300°Cの過熱水蒸気を常温の水から生成するには、10分以上もかかるようです。必要なときに必要な量の過熱水蒸気を瞬時に生成できれば、省エネにも大きく貢献できます。蒸気生成の高応答化

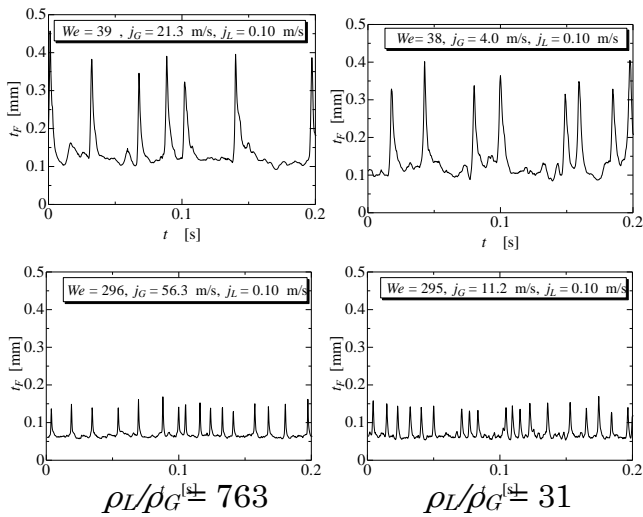


Fig.4 Comparison of time change of the liquid film thickness between $\rho_L/\rho_G=763$ and $\rho_L/\rho_G=31$.

Table 1 Comparison of gas-liquid properties between BWR operating condition and experimental conditions in the present study.

流体種類	圧力温度	ρ_g [kg/m ³]	ρ_L [kg/m ³]	σ [mN/m]	μ_g [μPaS]	μ_L [μPaS]	ρ_L/ρ_g
実機条件	水	7MPa	741	18		91	20
	蒸気	285°C	36.3		14.5		
代替流体条件	エタノール	0.7MPa	772	22		827	23
	R134aガス	40°C	34.0		14.0		

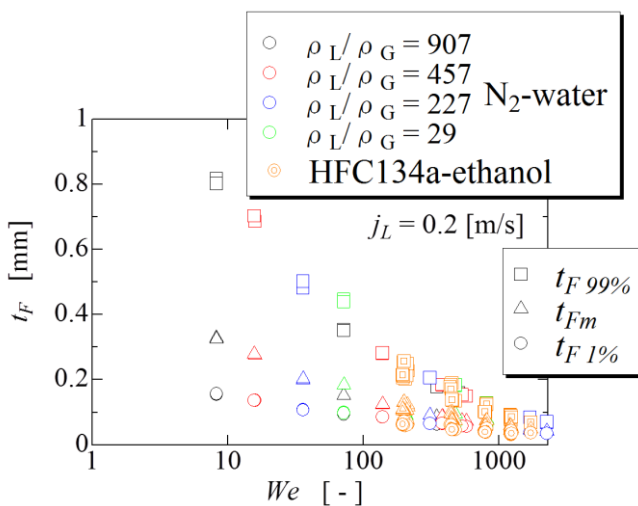


Fig.5 Maximum, averaged, and minimum liquid film thickness as a function of We .

には、加熱ヒータと水の熱容量を極限まで小さくすること、すなわち、細いヒータ線と含水多孔質体を用いることで可能となります。含水多孔質体を用いることの意義は、図6に示すように多孔質体表面に形成される熱容量無限小のメニスカスを活用できることです。図7に示す、著者らの考案した瞬間過熱水蒸気生成器は、断熱煉瓦ブロックの中心に孔を開け、その孔内面に細いニクロム線をらせん状に設置し、装置の底面を水に満たすだけです。そのワイヤヒータをステップ状に加熱すると、過熱水蒸気が図8に示すように数秒で生成できます（500Wの場合には約3秒で500°C以上の過熱水蒸気が生成）。なお図6で示した蒸気急速生成の原理図では飽和蒸気しか出ないはずですが、実際には過熱水蒸気が生成されました。さらに定常状態におけるエネルギー利用効率（加熱量に対して流体に伝わる熱量）も約90%以上と非常に高いです。この過熱水蒸気の高速生成メカニズムは、図9(b)に示すようにヒータ直下の熱流束が非常に高いので、ヒータと接触している多孔質体近傍の細孔内部に蒸気層ができ、発生した蒸気が乾燥領域を通過する際にマイクロチャンネル効果によって効率的に加熱されているのではないかと考えています。現在、ヒータ直下の乾燥領域の有無も含めて、過熱水蒸気が短時間・高効率で生成できるメカニズムについて検討を行っています。

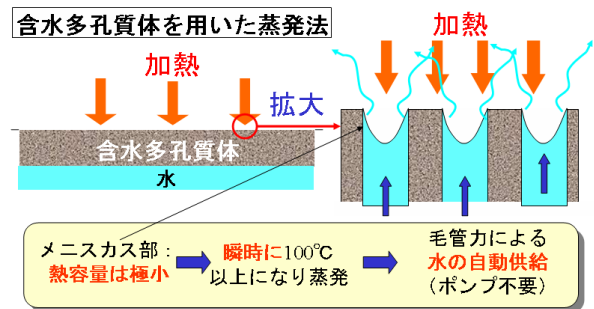


Fig.6 Principal of rapid steam generation using water-containing porous material.

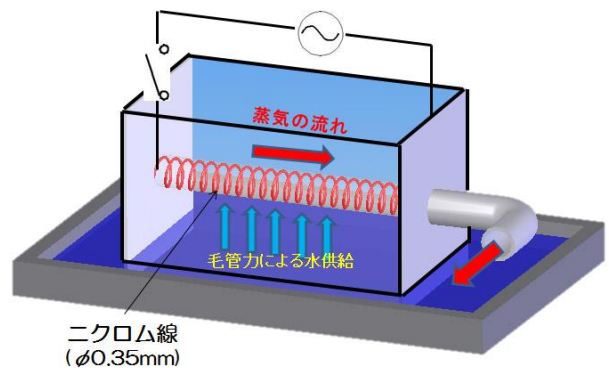


Fig.7 Rapid superheated steam generator.

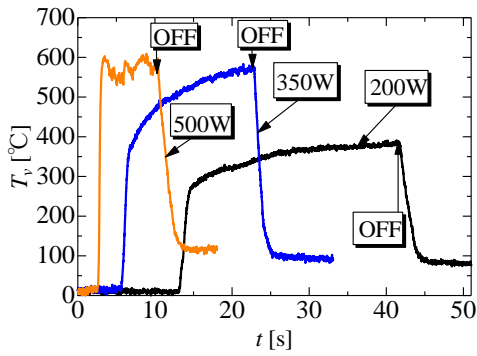


Fig.8 Time change of steam temperature during stepwise heat input.

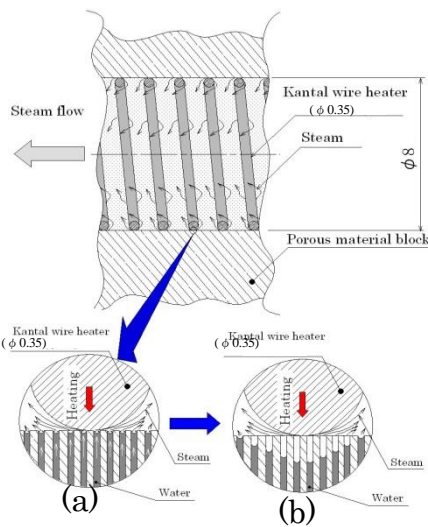


Fig.9 Schematic view of evaporation on the porous wick in the vicinity of the wire heater.

2.4 細胞・組織の凍結保存に向けた基礎研究

細胞の凍結保存においては、生存率が最大となる最適冷却速度があることが知られています。その最適冷却速度より早く冷却する場合には、細胞内凍結 (Intracellular ice formation、以下 IIF と略記) により生存率が低下し、反対にその最適冷却速度より遅く冷却する場合には溶液効果に起因して生存率は低下します。また IIF が発生開始するまでに、細胞内の水がその外部へどれだけ輸送されるかが細胞の生存率に大きく関わっています。これに関して、従来から低温顕微鏡を用いた研究は行われていますが、低温顕微鏡では非球形型の細胞やバクテリアなどは正確な観察は困難です。以上を踏まえ、本研究では精子、バクテリアなども測定可能な示差走査熱量計 (DSC) を用いて、凍結時における水輸送と IIF に関して定量的な検討を試みています。その一例を図 10 に示します。

冷却速度によって細胞内で起こる現象が変化しますが、その様子を DSC で詳細に検知できています。さらに図 11 は、顕微ラマン分光計を用いて細胞一個内部の氷晶の様子を可視化した一例です。顕微ラマン分光計を用いれば非破壊で細胞内の氷晶やタンパク質の変性の様子などの情報を得ることができ、凍結障害メカニズムを分子レベルで検討することが可能になります。

3. おわりに

本稿では、著者が主に行っている研究について紹介させて頂きましたが、本研究室では、他にも、 μs オーダの自発核生成沸騰現象を詳細に観察する共に、温度を精度良く測定し、蒸気爆発のメカニズム解明に関する研究、玩具のポンポン船をヒントに独自に高性能な自励振動ヒートパイプを提案している研究など、熱流体现象の極限現象に着目した研究を主に行っています。ご興味を持って頂けたなら、以下の HP を参照頂くと幸いです。http://www.okuyamalab.ynu.ac.jp/

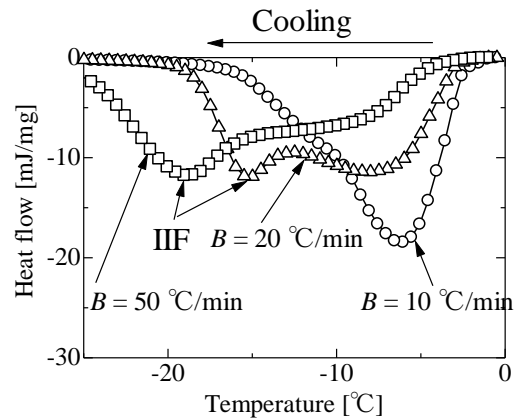


Fig.10 Heat thermograms obtained during the cooling run for a cooling rate of 10, 20, 50 °C/min.

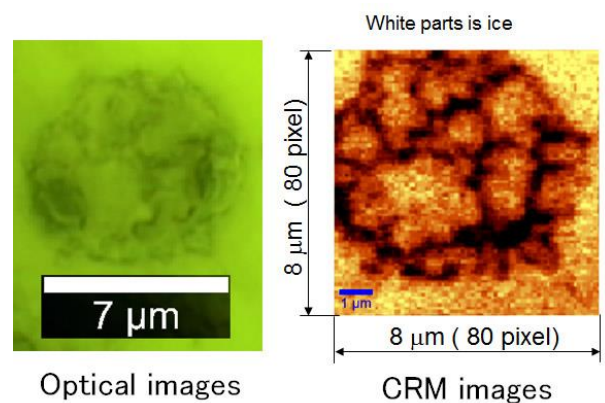


Fig.11 Confocal Raman Microspectroscopic and optical images of a frozen cell ($T = -30\text{ }^{\circ}\text{C}$).

会員総会報告

熱流動部会第43回全体会議 議事録

- (1)日時：平成26年9月9日(火)12:00-13:00
(2)場所：2014年秋の大会J会場
(京都大学吉田キャンパス)

(3)会議資料

- ①日本原子力学会 熱流動部会 第43回全体会議
- ②総務小委員会活動報告
- ③企画小委員会活動報告
- ④研究小委員会の活動報告
- ⑤国際小委員会活動報告
- ⑥広報小委員会活動報告
- ⑦出版編集小委員会活動概要
- ⑧表彰小委員会報告

議事

1. 平成26年度部会長挨拶

福島第一原子力発電所の事故から3年半が経過して、最近ようやく明るい兆しがみえてきた。一つは原子力が重要なロードベース電源とするエネルギー基本計画が4月に閣議決定されたこと、もう一つは新規制基準に基づく川内原子力発電所の審査書がパブリックコメントを受ける段階までに達していることである。近々、再稼働する見通しであり、産業界を含めて元気が出始めている。熱流動部会としても、人材育成のための若手交流フォーラム、国際会議等の活動を推進するので、協力をお願いしたいとの挨拶があった。

2. 平成26年度熱流動部会役員

平成26年度熱流動部会役員のリストが示された。

3. 総務小委員会活動報告

3-1 部会等運営委員会

部会等運営委員会(5/19, 8/8)での情報として、春の年会・秋の大会の開催循環(2015春・茨城大学(3/20-22)、2015秋・静岡大学(9/9-11)、2016春・東北大学(3/26-28)、2016秋・九州支部、2017春・甲越支部、2017秋・北海道支部)について紹介があった。また、原子力技術者・研究者の継続研鑽(CPD)を支援するための「日本原子力学会教育委員会推奨CPDプログラム」制度について、原子力安全に関わる教育的プログラムに関する情報を部会から提供することが報告された。

3-2 平成26年度予算

平成26年度予算のうち、日韓学生セミナー渡航費補助等への利用の説明や、熱水力WGの平成26年度の継続実施のための旅費補助の支出に関して平成25年度の繰越金を利用する予定であることが説明された。

3-3 長期予算計画

これまで通り日本開催時の日韓学生セミナー、国際会議(NTHAS, NUTHOS, NURETH)、若手交流フォーラムを部会予算による主な事業とすることが紹介された。

3-4 その他

「2014年秋の大会」プログラム編成委員の紹介があった。2015年春の年会、2015年秋の大会のプログラム編成委員のリーダーに波津久達也氏(東京海洋大学)、枠組み編成WG委員に西田浩二氏(日立GE)、新任のプログラム編成委員に江原真司氏(東北大学)が就任することが紹介された。

4. 企画小委員会報告

2014年9月10~11日に計算科学技術部会との共催で、第2回若手交流フォーラムを開催するとの紹介が行われた。1日目は本大会のM会場でポスター発表後、敦賀に移動、2日目はFBR関連の講演を聴講した後、もんじゅ、INSSを見学する工程が紹介された。若手、特に学生参加の費用負担を低減するため、参加費(旅費)、懇親会費の一部、及びその他の必要な支出について、熱流動部会員の理解を頂きたいとの依頼があった。また、今回のフォーラムから、最も優秀な発表者に対して部会優秀発表賞(若手交流フォーラム)を授与すること(2015年春の年会の全体会議で表彰)、またその選考基準について説明があった。

5. 研究小委員会報告

「熱水力安全評価基盤技術高度化検討WG」、「シビアアクシデント評価研究専門委員会」、「高温ガス炉の安全設計方針研究専門部会」の状況について報告があった。「熱水力安全評価基盤技術高度化検討WG」には基盤技術、安全評価の2つのSWがあり、2014年度まで活動期間が延長すること、2014年秋の大会熱流動部会企画セッションで活動報告をする予定であることが報告された。また、「シビアアクシデント評価研究専門委員会」には、SAMPSON、PIRTの2つのSWがあり、2014年度まで活動が延長することが報告された。「高温ガス炉の安全設計方針研究専門部会」の活動は2014年春の年会で中間報告が実施されており、2015年春の年会で最終報告する方向で調整中であることが説明された。

6. 国際小委員会報告

2014年12月14～18日に沖縄コンベンションセンターで開催するNUTHOS-10の準備状況について説明があった。アブストラクト締切時で313件の投稿があり、7/22時点の提出済み論文は232件となっている状況が報告された。プレナリ講演者、キーノート講演者が決定しており、中国、韓国、台湾からのプレナリ講演に代わるパネルセッションを検討中であることが報告された。国内原子力メーカーがスポンサーとなることが決定しており、投稿論文数あるいは予想参加者数から推測すると、黒字の見通しであるとの説明があった。

2014年11月16日～19日にLotte Resort Buyeo(韓国、扶余市)で開催するNTHAS-9の準備状況について説明があった。7/2時点のアブストラクト投稿は110件(日本から40件)である状況が報告された。その他、熱流動部会関係の国際会議であるNURETH、NUTHOS、NTHAS、ANS ATHの開催計画について説明があった。

NTHAS-9の前に開催する日韓学生セミナー(2014年11月14～15日、Kyowon Dream Center(韓国、慶州市))の準備状況について説明があった。渡航費用の一部を熱流動部会で補助するので、学生の育成、国際交流の促進の観点から、参加者の検討をお願いしたいとの依頼があった。

7. 広報小委員会報告

部会ホームページの更新、部会ニュースレター(84号(発行済み)、85号(9/15予定))の発行の状況、メーリングリストを用いた会員への情報提供の状況について報告された。また、2011～2014年度までの流動部会員の変遷及び構成比率を分析した結果が示され、部会員数の増加に向けて協力頂きたいとの依頼があった。

8. 出版編集小委員会報告

2014年度の熱流動部会編集小委員会及び第6分野(伝熱流動)論文集編集委員メンバーの紹介があった。最近5年間の論文集投稿掲載状況が示され、英文誌の投稿が多く、和文誌の投稿が少ない状況について説明があった。また、英文論文誌JNSTの共同出版化が開始され、2013年1月から新システムにより投稿が開始され、8/20までに第6分野で58編の投稿があったとの紹介があった。JNSTの2013年のインパクトファクターが高い値であることが紹介され、その要因としてJENDL4.0と福島第一原子力発電所事故の引用が寄与しているとの説明があった。

9. NURETH-17について

ANSのTopical MeetingでANS THDと共催となるNURETH-17は2017年にアジアで開催予定である。熱流動部会として、福島第一原子力発電所事故後6年半が

経過し、事故調査を含む事故関連の熱流動研究について最新の情報交換、討論の実施に最適と判断し、主催国として立候補する提案を検討して来た状況が守田総務委員長より説明された。

会期は2017年9月24(日)～29日(金)、場所は「つくば国際会議場」(茨城県つくば市)を予定している。福島第一原子力発電所や福島の復興状況の視察が可能であること、都内からのアクセスが良いこと、会場費が比較的安価である等の理由で会場を選定したことが示された。また、主催提案までの主な検討項目、提案スケジュールについて説明があった。

杉本部長から日本で開催する意義、提案の可能性のある海外の状況、組織委員会メンバーの候補等の状況についても説明があった。NURETH-17日本主催の提案について、本全体会議において承認された。

10. 表彰小委員会報告

2014年「春の年会」優秀講演賞の候補者を内規に基づき表彰小委員会で選考し、熱流動部会運営委員会で承認した結果、以下の4名の方々に優秀講演賞を授与することになったとの報告があった。報告後、表彰式を行った。

①Marco Pelligrini(エネルギー総合工学研究所)

Assessment of Core Status of TEPCO's Fukushima Daiichi Nuclear Power Plants (23) CFD Analysis of Steam Condensation in the Fukushima Daiichi NPP Pressure Suppression Pool

②森田 良(電力中央研究所)

BWR主蒸気系及びドライヤの音響・流動振動評価(34)実機プラント体系での主蒸気管共鳴・ドライヤ応力の数値計算による 評価

③森 昌司(横浜国立大学)

ナノ流体とハニカム多孔質体を用いた飽和プール沸騰限界熱流束の向上

④山田 充(早稲田大学)

サブクール沸騰によるCHF発生機構の解析(DNB熱流束予測手法の構築と評価)

11. 副部長挨拶

熱流動部会の活動としてはNUTHOS-10、NTHAS等の国際会議が重要と考えており、NURETH-17についても提案できる状況になったので、積極的に活動して行きたい。また、若手交流フォーラムについても定着してきており、若手自らが企画したり、優秀な講演者を表彰したりする活動を展開して行きたい。今後も部会活動に協力をお願いしたいとの挨拶があった。

以上

平成 26 年度 熱流動部会役員

部会長	杉本 純	(京都大学)	同副委員長*	中村 晶	(INSS)
副部会長	上出 英樹	(JAEA)	企画委員長*	小瀬 裕男	(大和 SE)
総務委員長	守田 幸路	(九州大学)	出版編集委員長**	師岡 愼一	(早稲田大学)
総務副委員長	西田 浩二	(日立 GE)	同副委員長*	山本 泰	(東芝)
広報委員長**	坂田 英之	(三菱重工)	表彰委員長	中田 耕太郎	(東芝)
同副委員長*	米本 幸弘	(熊本大学)	海外担当役員	二ノ方 壽	(ミラノ工科大学)
研究委員長**	波津久 達也	(東京海洋大学)			
国際委員長**	石渡 祐樹	(日立 GE)			

*:任期 2 年の 1 年目、 **:任期 2 年の 2 年目

<編集後記>

2014 年度第 2 号のニュースレターをお届けいたします。今号では、横浜国立大学の森先生に奥山・森研究室で行われています電子機器や原子炉事故時の緊急冷却のための冷却技術に関する研究など、様々な研究についてご紹介頂きました。

ニュースレターへの原稿は、随時受付を行っております。研究室紹介、会議案内、エッセイ等寄稿お願いいたします。また、ニュースレターに関するご質問、ご意見、ご要望等ありましたら、ぜひ e-mail をいた

だけましたら幸いです。熱流動部会に入会した方、入会しているがメールが届かない方が身近におられましたらご相談ください。

e-mail 宛先: hideyuki_sakata@mhi.co.jp
yonemoto@mech.kumamoto-u.ac.jp

熱流動部会のホームページ:

<http://www.aesj.or.jp/~thd/>

からニュースレターの PDF ファイルは入手可能です。